

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Modelování a simulace

Technická zpráva k projektu
Varianta zadání č. 3 – SHO Výrobní linka

autoři:

Jan Opálka (xopalk01)

František Němec (xemec61)

9. prosince 2013

1 Úvod a motivace

V této práci je řešen návrh nově vznikajícího hypotetického pivovaru, ke kterému bude využito sestavení konceptuálního modelu pomocí Petriho sítě. Na základě modelu a simulačních experimentů bude zjištěno, jaké prostředky je potřeba zajistit pro požadovanou výrobu v daných podmínkách a dojde ke stanovení maximálního množství objednávek (omezené velikosti), které je pivovar schopný při dané specifikaci přijmat. Dále se bude jednat o srovnání, zda daný návrh je konkurenci schopný, s jinými reálnými pivovary menšího řazení. Smyslem experimentů je demonstrovat situace, kdy by pivovar přimal příliš mnoho objednávek a v důsledku toho by se časy dodání zvětšovaly a nebylo by možné dodržet data dodání objednávek příjemcům. Na druhou stranu v případě příjmu malého množství objednávek by výrobní zařízení nebylo efektivně využíváno. Správnost zvolené koncepce byla ověřena pomocí informací z knih.

1.1 Zdroje faktů

Autory této práce jsou studenti třetího ročníku bakalářského studia na Fakultě informačních technologií: Jan Opálka (xopalk01) a František Němec (xemec61).

Základní informace k návrhu modelu a simulacím byly čerpány z podkladů[4], znalostí a praktických zkušeností nabytých v předmětu IMS[5][6]. Zdroje informací byli čerpány z odborné literatury z oblasti pivovarnictví mezi ně patří tyto publikace:

1. Technologie sladu a piva, 1. díl: Suroviny a pomocné látky, výroba sladu a strojní zařízení sladoven[1].
2. Technologie sladu a piva, 2. díl: Výroba piva a strojní zařízení pivovarů, pomocné úkony[2].
3. Pražské pivovárky a pivovary[8].

4. Vaříme pivo: podrobný průvodce vařením piva, přípravou vína a cideru[9].

Ke srovnání byly použity oficiální elektronické dokumenty pivovarů vydáné k přehledovým a režijním účelům.

1.2 Ověření validity

Experimentální ověřování validity modelu probíhalo průběžně již od počátku návrhu a bylo prováděno srovnáním výsledků simulace s údaji z jednotlivých výročních zpráv menších pivovarů. Některé informace byly čerpány z dostupných materiálů, k některým interním datům řešitelé však nedostali přístup, případně tyto statistiky nebyly k dispozici, jelikož si pivovary nevedou potřebné záznamy, proto byla v těchto případech použita fiktivní data s co možná nejrealističtější odhadem. Předpokládá se však, že při tvorbě reálné zakázky pro návrh pivovaru by došlo k podrobné studii a získáním kompletních údajů.

2 Shrnutí relevantních faktů, zdroje informací

K modelování a simulaci hypotetického pivovaru je třeba znát chod v reálných pivovarech. Řešitelé práce se rozhodli zanedbat proces příchodu zdrojových surovin a zaměřili se především na proces výroby piva a řešení jednotlivých objednávek. Hlavním účelem pivovaru je vařit pivo na základě objednávek, aby nedocházelo ke zbytečnému skladování a zastarávání hotového výrobku a tak i k jeho znehodnocení. Jakmile přijde objednávka, dojde k rozhodnutí její priority, o čemž rozhoduje vrchní manažer pro obchodní styky.

Jakmile je rozhodnuto, může začít proces přípravy surovin, kdy se nechá hlavní surovina, ječmen, naklíčit pomocí vody. Po třech dnech klíčení dochází k hvoždění, což zahrnuje vysušení a zbarvení ječmene za působení tepla. Vzniklá surovina se jmenuje slad. Tento skladovatelný slad postupuje do šrotovníku, kde je šesrotován. Následuje vystírání a rmutování, které je vícefázové. V těchto procesech dochází k důležitým chemickým reakcím, jež aktivují složky způsobující kyselost produktu a enzymy zpracovávající složité cukry na nižší, tzv. zkvasitelné cukry. Po scezení se vzniklá sladina čerpá do chmelovarného kotle.

Tyto kotle bývají dvou až šestinádobové. Sladina v chmelovarném kotli se pomalu přivádí k varu, zvýšení teploty je o 1 °C/min. V této závěrečné fázi vaření se dodává dílu charakteristická hořká chuť prostřednictvím chmelu nebo chmelového preparátu. Pro charakteristické výsledné aroma a chuť se v dnešní době používá kombinace chmele a extraktu. Při dvouhodinovém chmelovaru se chmelí zpravidla třikrát - na začátku, uprostřed a poslední chmelení se provádí zhruba půl až tři čtvrtě hodiny před koncem.

Po ukončení tohoto procesu je nutné přečerpat vzniklou mladinu do hlavních kvasných nádob ve spilce a nechat alespoň hodinu a půl odstát. Tyto nádoby se nachází ve vysoce sterilní místnosti. Nejčastěji jsou situované v úrovni sklepů. Po klidové fázi se do mladiny nasadí kvasinky, které generuje propagátor kvasinek. Hlavní kvašení trvá mezi sedmi až dvanácti dny v závislosti na stupni a rychlosti prokvašení.

Z kvasných nádob ve spilce se mladé pivo přečerpá do ležáckých tanků, kde dochází k dokvašení a dozrání piva. V dnešní době pivo dozrává 14 dnů až 1 měsíc. Výsledkem tohoto procesu je takzvané kvasnicové pivo, které se pro získání klasických ležáckých piv musí ještě vyfiltrovat ve filtračních zařízeních a následně pasterizovat. Jakmile se dokončí pasterizace, je pivo připraveno na lahvování a expedici k zadavatelům objednávek.

V tabulce 1 následuje shrnutí číselných údajů pro malý průmyslový pivovar.

Příchody, Zpracování	Údaj	Zdroj
várka malého prům. pivovaru	2500l	Technologie sladu a piva, 2. díl[2]
čerpání vody	12,6hl/hod	Technologie sladu a piva, 2. díl[2]
přísun ječmene ze skladu	2t/hod	Technologie sladu a piva, 1. díl[1]
poměr vody a ječmene pro klíčení/várka	40hl/500kg	Technologie sladu a piva, 1. díl[1]
klíčení	(uni) 60-80hod	Pražské pivovárky a pivovary[8]
hvoždění	24hod	Technologie sladu a piva, 2. díl[2]
šrotování	1-2hod (500kg/hod)	Technologie sladu a piva, 2. díl[2]
vystírání	(+) 625l vody	Technologie sladu a piva, 2. díl[2]
čištění šrotovníku	15min	Vaříme pivo: podrobný průvodce[9]
rmutování	5,5hod (+) 30čiš.	Vaříme pivo: podrobný průvodce[9]
dokvašení	14dnů - 1 měs.	Vyjádření pivovar Krušovice[10]
scezení	2,5-3,5h	Vaříme pivo: podrobný průvodce[9]
vaření piva - chmelovar	2h	Vaříme pivo: podrobný průvodce[9]
okalení a zchlazení	1,5-2h	Vaříme pivo: podrobný průvodce[9]
hlavní kvašení(spilka)	7-12dnů	Technologie sladu a piva, 2. díl[2]
filtrace	24hod	Technologie sladu a piva, 2. díl[2]
pasterizace	20-30min	Technologie sladu a piva, 2. díl[2]
stáčení do lahví - lahvování	1000l/hod	Výroční zpráva pivovaru Herold, 2006[11]

Tabulka 1: Zjištěné údaje

2.1 Popis použitých postupů

Autoři použili objektově orientovaného jazyka C++, jehož vlastnosti, především objektový návrh, se hodí pro efektivní řešení zadané úlohy. Díky tomu bylo možné použít i knihovnu SIMLIB/C++[3], která poskytuje vhodné třídy pro simulaci konkrétního modelu.

2.2 Popis původu použitých metod/technologií

Použité konstrukce, algoritmy a datové struktury lze najít ve prezentacích k předmětu IMS[4], v prezentacích pro první a druhé demonstrační cvičení z tohoto předmětu ([5] i [6]). V poslední řadě bylo čerpáno z rad ze prezentací k semináři o projektech z IMS[7].

3 Koncepce přístupu, modelu

Cílem projektu je simulovat vytížení hypotetického malého průmyslového pivovaru. Sledovat tok jednotlivých objednávek systémech, jejich rozdělení na výrobní várky. Vytížení jednotlivých výrobních zařízení a časy várek strávené ve frontách. Při simulaci je uvažován pouze jeden druh výsledného piva, v případě požadavku na výrobu i dalších druhů piva by se jen mírně odlišoval výrobní postup, zejména ve fázích klíčení, rmutování, kvašení, dokvašování a případného ošetření piva (kvasnicové, nefiltrované, ochucené...). K této simulaci není nutné obsáhnout celý model pivovaru i s podrobným tokem výrobních surovin. Proto pro tento model byly tyto oblasti zanedbány. Jelikož jde o poloautomatickou průmyslovou výrobu, je také zanedbáno rozdělení zaměstnanců k jednotlivým zařízením - nebyl nalezen dostatek informací k této problematice a špatný odhad by mohl silně ovlivnit výsledky. Z dostupných informací vyplynulo, že rozdělení zaměstnanců nemá vliv na výrobní proces a nevytváří prostoje ve výrobě. Model sice přijímá objednávky, ale o doručení objednaného

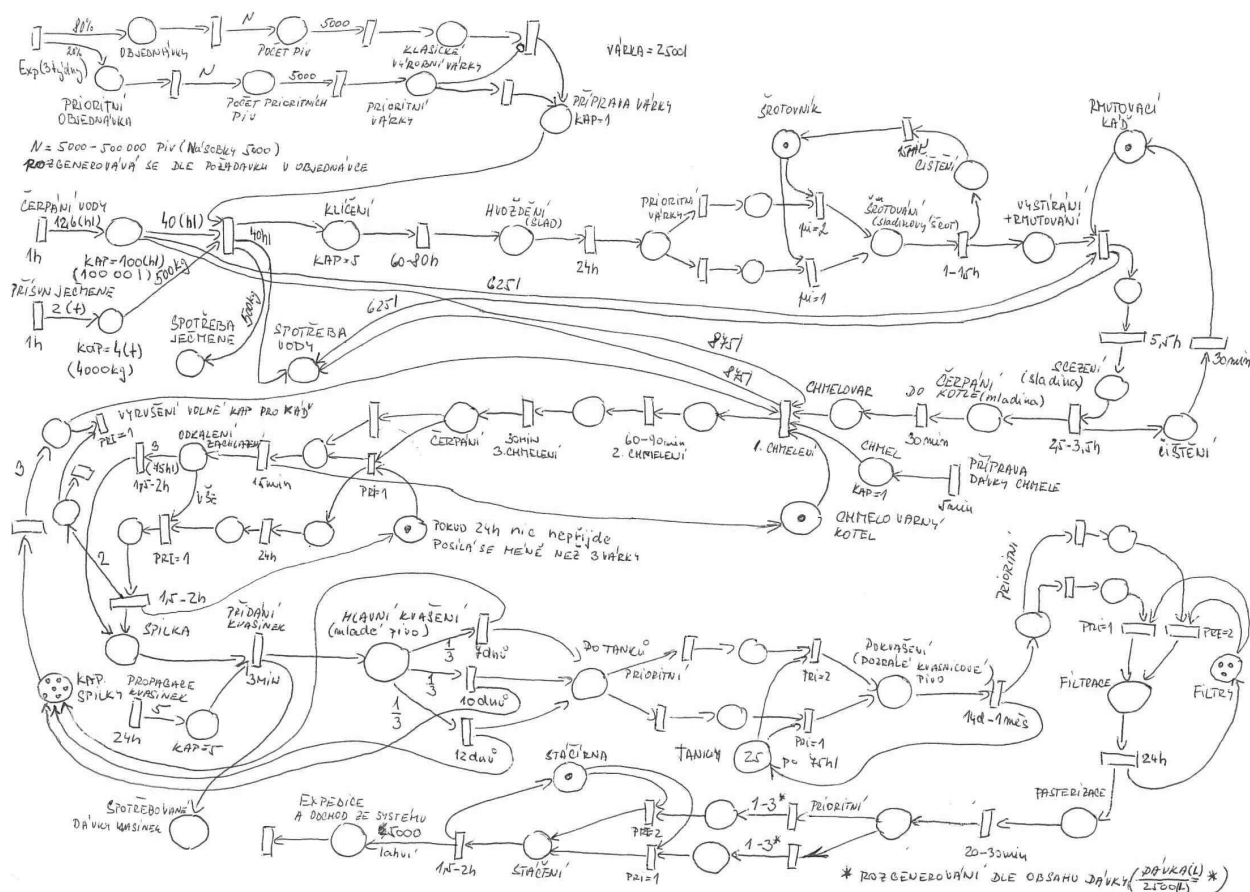
zboží se striktně nestará, tato část se zanedbala a není bráno v potaz doručení hotových výrobků k zadavatelům. Pro zkoumaný systém by to bylo redundantní.

3.1 Způsob vyjádření konceptuálního modelu

Vstupem simulace je objednávka s exponenciálním rozložením (viz. [4]) příchodu. Objednávce je na počátku přiřazena prioritou manažerem pro obchodní styk a dále dochází k rozdělení objednávky na výrobní várky. Tyto výrobní várky postupují výrobní linkou dle priorit jim přiřazených. Každá výrobní várka, transakce (viz. [4], str. 136), prochází systémem a postupně si zabírá požadované zařízení pro technologickou obsluhu, která je v dané fázi vyžadována. Výstupem simulačního procesu jsou histogramy času, jaký strávily objednávky v systému, informace o vytížení jednotlivých zařízení a skladů (viz. [4]), tabulky času front před jednotlivými zařízeními a celkové množství vyrobeného piva.

3.2 Formy konceptuálního modelu

Abstraktní model hypotetického malého průmyslového pivovaru byl popsán pomocí Petriho sítě (viz. [4]) na základě výše uvedených relevantních získaných faktů. Následující model (Obrázek 1) je pro přehlednost vložen do příloh v plné velikosti.



Obrázek 1: Model hypotetického pivovaru

4 Implementaci modelu

Příchod objednávek zajišťuje generátor typu `Event` (viz. [4], str. 163). Při vytvoření objednávky je objednavce pseudonáhodně přiřazena priorita a velikost, která je určena počtem várek, ze kterých se skládá. Jedna várka zastupuje 25 hektolitrů piva a z toho plyne omezení velikosti objednávek na násobky 25 hektolitrů. Po přiřazení velikosti je vygenerován příslušný počet várek, které dědí prioritu objednávky a jsou podle ní obsluhovány v jednotlivých zařízeních.

Hlavní částí modelu je už zmíněná várka, která je tvořena třemi procesy, které reprezentují jednotlivé fáze výroby. První fáze zahrnuje přípravu várky, klíčení ječmene, hvoždění sladu, šrotování, vystírání a vaření piva. První fáze je reprezentována procesem `PripravaVareni`, která dědí od třídy `Process` (viz. [4], str. 163) stejně jako procesy druhé a třetí fáze. Druhá fáze představuje hlavní kvašení ve spilce, dokvašování v tancích, filtraci a pasterizaci. Představuje ji proces `KvaseniOsetreni`. Poslední fází výroby je stáčení a expedice, která je tvořena procesem `Staceni`.

Rozdělení na tři procesy je nutné z důvodu velikosti kapacity spilky, ve které probíhá hlavní kvašení. Jak už bylo zmíněno jedna várka představuje 25 hektolitrů avšak kapacita jedné kádě spilky je 75 hektolitrů. Várky se tedy na začátku výrobního procesu pohybují samostatně, a když projdou ke kvasícím kádím, proběhne jejich sloučení do jednoho procesu. V procesu, který je vytvořen sloučením několika várek, je nutné ukládat priority jednotlivých várek a čas započetí výroby várky pro statistické účely. Zde je nutno dodat, že po určitém časovém úseku dojde k vynucení započetí kvašení ve spilce i přesto, že nebude využita na plnou kapacitu, což má negativní vliv na efektivitu výrobního procesu. Po skončení kvašení a ošetření je vygenerován určitý počet procesů, který odpovídá počtu sloučených várek ze kterých byl proces kvašení vytvořen.

Všechna zařízení jsou modelována jako typ `Store` (viz. [4], str. 146) i přesto, že některé sklady zařízení mají kapacitu rovnu jedné a logičtější by bylo použít třídu `Facility` (viz. [4], str. 146). Důvod tohoto rozhodnutí je poskytnout větší možnosti experimentování s počty zařízení modelu, a zároveň umožnit uvolnění zařízení jiným procesem, než kterým bylo zabráno, čehož je konkrétně využito u procesů čištění šrotovníku a vystírací kádě.

Přípravu surovin zajišťuje třída `MaterialGenerator`, která je tvořena skladem typu `Store` a generátorem surovin typu `Process`. Sklad obsahuje informaci o aktuální množství dané suroviny a zároveň jeho kapacita určuje maximální možné množství připravené suroviny v jednom okamžiku. Generátor má za úkol doplňovat sklad s daným časovým zpožděním, které simuluje čas přípravy.

Ke zdokumentování doby potřebné na dokončení objednávky, doby výroby várky, časů prostojů a délek front je využita třída `Histogram` (viz. [4], str. 81).

5 Experimentování

Ze začátku bylo důležité odhadnout a ověřit nejvhodnější hodnoty nedostupných údajů tak, aby byl model co nejvěrohodnější a odpovídal skutečnému systému. V další části docházelo k experimentování a úpravám hodnot - příchod objednávek do systému, obsah várek jednotlivých objednávek, počty jednotlivých zařízení a skladů, aby byla zajištěna dostatečná propustnost ve všech čtyřech fázích výroby - přípravě, vaření, kvašení a konečné úpravě společně s expedicí. Cílem těchto úprav bylo zefektivnit chod systému a zdokonalit prvotní návrh - zejména se jednalo o zkrácení čekacích dob, zabránění vzniku zkažených várek vytvořením dostatečné kapacity ležáckých tanků a taktéž se jednalo o zabránění stavu, kdy dochází k nedostatečnému i neefektivnímu vytížení výrobních zařízení.

5.1 Postup experimentování a okolnosti studie

Každý experiment byl rozložen do následujících kroků:

- vytvoření jednotlivých částí modelu:
 - generování objednávek, které budou dále v systému zpracovány
 - příprava
 - vaření
 - kvašení
 - dokvašení
 - úprava a expedice
- generování potřebných surovin a zpracovávajících zařízení
- inicializace a zahájení simulačního procesu
- porovnání a vyhodnocení výsledků

V prvním kroku se generují objednávky, které budou dále postupovat systémem v zastoupení jejich výrobních várek. Druhý krok se stará o dostatek surovin pro výrobu jednotlivých várek a přítomnost všech potřebných výrobních a podpůrných zařízení a přístrojů. Během třetího kroku se inicializují simulační data a je zahájena vlastní simulace. V posledním kroku se provádí zhodnocení výsledků.

5.2 Dokumentace jednotlivých experimentů

5.2.1 Experiment č. 1

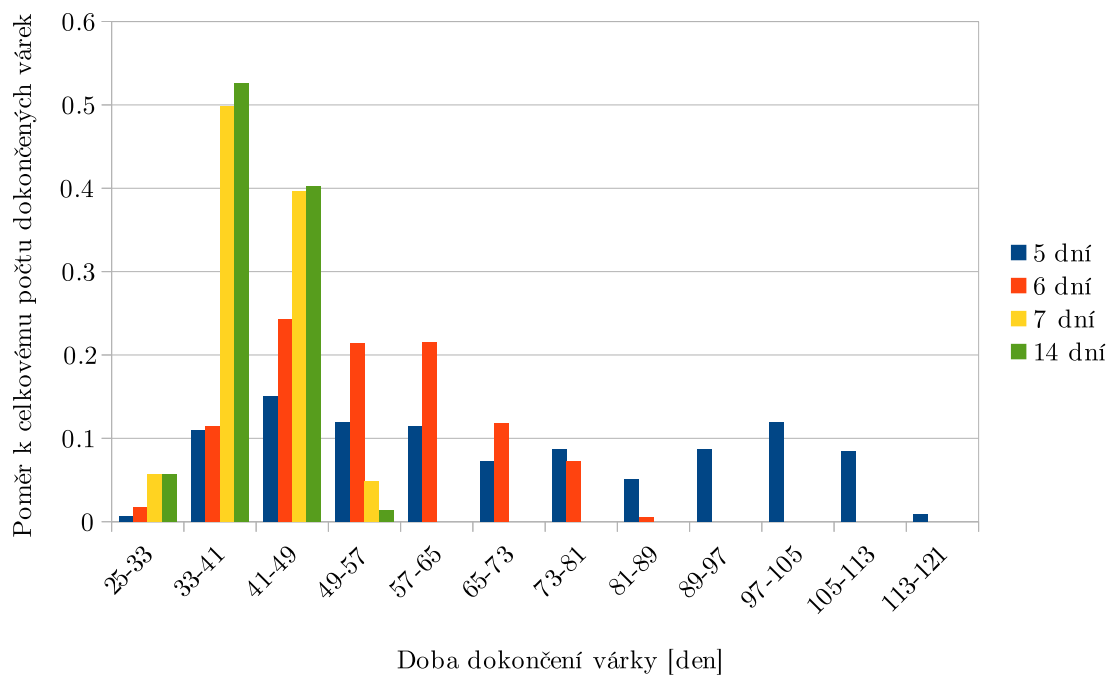
Jedná se o experiment zaměřený na zjištění propustnosti modelu. Z tohoto důvodu byl dočasně změněn příchod objednávek do systému na rovnoměrný. Čas příchodu se parametrizoval, a došlo k omezení objednávky na 12 várek, což činí 30000l piva. Z grafu 2 lze vyčíst, že optimální příchod objednávek o velikosti 12 várek je jednou týdně. Optimální znamená stav, kdy nedochází k hromadění várek v modelovaném systému. V příloze A jsou přidány tabulky délky front jednotlivých zařízení, průměrné časy strávené ve frontách zařízení pro várky(transakce) a vytížení výrobních zařízení.

Interval příchodů obj.	Várky	litry
5 dní	560	1400000
6 dní	561	1402500
7 dní	562	1405000
14 dní	283	707500

Tabulka 2: Počet dokončených várek/litrů piva

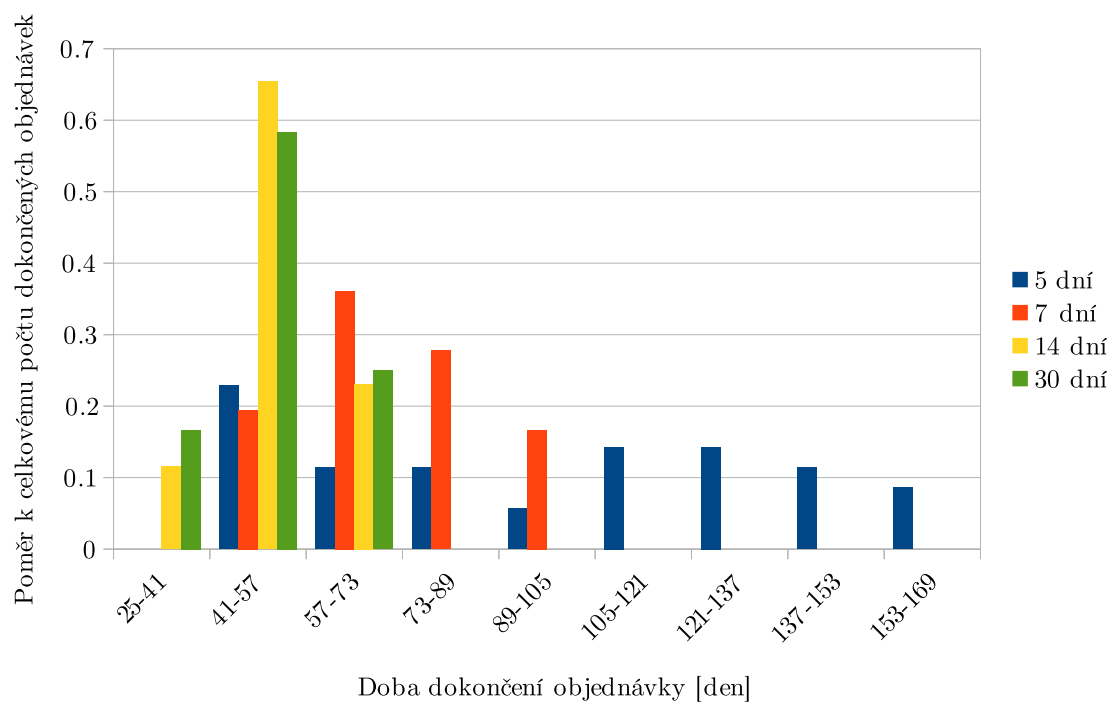
5.2.2 Experiment č. 2

V experimentu číslo 2 byl změněn příchod objednávek na exponenciální rozložení. Počet várek v jednotlivých objednávkách je určen normálním rozložením se středem 13 a σ (odchylkou) 3,3 (počet várek se tedy pohybuje v intervalu 5-25). V tomto experimentu je reálněji ověřena propustnost výroby piva a je možné ji srovnávat



Graf 2: Histogram 1

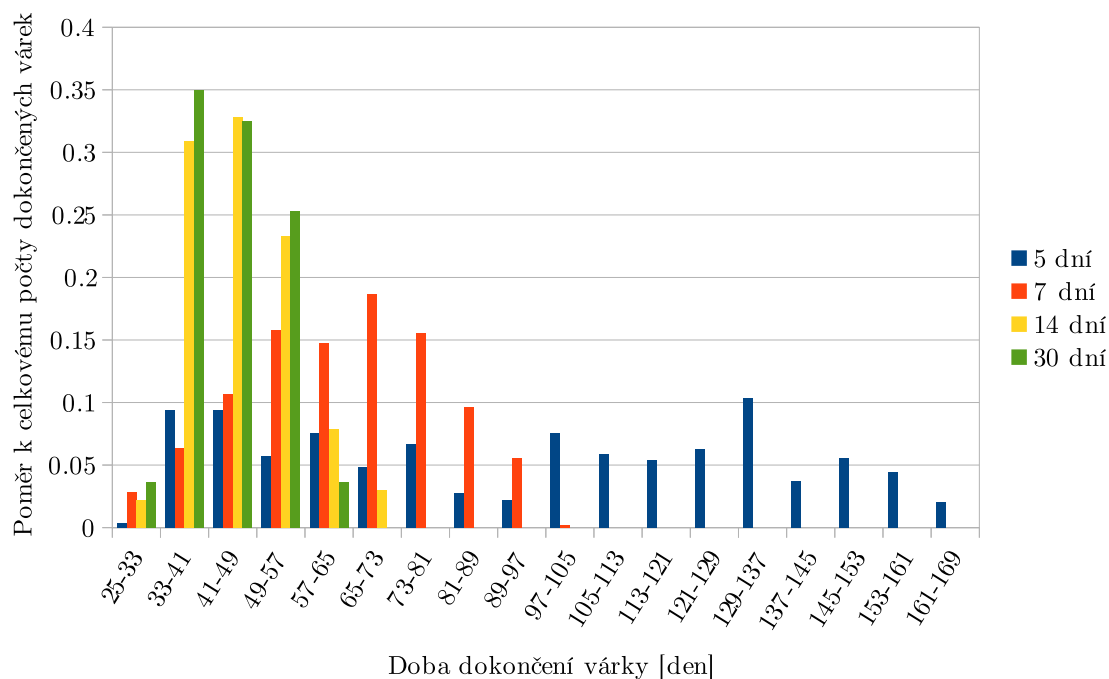
s výrobou reálných pivovarů pro zjištění použitelnosti systému. V histogramu 3 je popsáno, jakým způsobem dochází ke zpracování objednávek v závislosti na různém intervalu jejich příchodu. Tabulka 3 popisuje objem výroby za rok. Histogram 4 zobrazuje doby zpracování várek k celkovému počtu dokončených várek. V příloze B jsou přidány tabulky délky front jednotlivých zařízení, průměrné časy strávené ve frontách zařízení pro várky(transakce) a vytížení výrobních zařízení.



Graf 3: Histogram 2.1

	litry
5 dní	1355000
7 dní	1220000
14 dní	922500
30 dní	415000

Tabulka 3: Produkce piva v litrech



Graf 4: Histogram 2.2

5.2.3 Experiment č. 3

V tomto experimentu dochází ke srovnání výsledku produkce z experimentu č. 2 s reálnými parametry pivovaru Herold[11] během dvou let. Z tabulky 4 je vidět, že výroba je přibližně srovnatelná s produkcí pivovaru Herold v roce 2005, pokud bude přijímat objednávky s exponenciálním rozložením se středem 14 dnů. Kdežto pro rok 2006 by musel hypotetický pivovar přijímat objednávky s exponenciálním rozložením se středem 5 dnů, aby dokázal vyrobit to, co pivovar Herold.

	2005	2006
5 dní	138,08	98,20
7 dní	124,32	88,41
14 dní	94,01	66,85
30 dní	42,29	30,07

Tabulka 4: Poměr výroby hypotetického pivovaru ku pivovaru Herold(v %)

6 Shrnutí experimentů a závěr

Při zhodnocení experimentů byl obhájen závěr, že model malého průmyslového pivovaru je věrohodný, ačkoliv nebylo možné zjistit či nalézt všechny potřebné informace a bylo nutné použít odhad pro aplikaci v modelu. Doba optimálního příchodu objednávek do systému je 7 dnů s exponenciálním rozložením, protože je to hraniční bod, kdy ještě nedochází k vytváření front. Výsledky experimentů dokazují, že proces výroby je v rámci možností srovnatelný s reálnými pivovary. Model je možné dále zdokonalit a případně uvážit použitelnost v reálném světě.

Reference

- [1] Bílek, V. *Technologie sladu a piva, 1. díl: Suroviny a pomocné látky, výroba sladu a strojní zařízení sladoven*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1953.
- [2] Bílek, V. *Technologie sladu a piva, 2. díl: Výroba piva a strojní zařízení pivovarů, pomocné úkony*. Státní nakladatelství technické literatury, Praha, 1954.
- [3] Peringer P. *SIMulation LIBrary for C++* [Online]. 2011.
<http://www.fit.vutbr.cz/~peringer/SIMLIB/>
- [4] Peringer P. *Slajdy k přednáškám předmětu IMS* [Online]. Verze 24-září-2013. [cit. 2013-12-05].
<http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMS/public/prednasky/IMS.pdf>
- [5] Hrubý M. *Demonstrační cvičení IMS #1* [Online].[cit. 2013-12-05].
<http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/ims-demo1.pdf>
- [6] Hrubý M. *Demonstrační cvičení IMS #2* [Online].[cit. 2013-12-05].
<http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/diskr2-2011.pdf>
- [7] Hrubý M. *Seminář o projektech IMS* [Online].[cit. 2013-12-05].
[IMS-2013-seminar-o-projektech.pdf¹](#)
- [8] Polák, M.. *Pražské pivovárky a pivovary*. Libri, Praha, 2003. ISBN 80-7277-193-0.
- [9] Thompson, J. *Vaříme pivo: podrobný průvodce vařením piva, přípravou vína a cideru*. Svojtka & Co., Praha, 2012. ISBN 978-80-256-0931-6.
- [10] Zagorová, J. *Vyjádření pivovar Krušovice* [Online]. 2006.
odkaz na pdf: [Vyjádření pivovar Krušovice.pdf²](#)
- [11] *Výroční zpráva, účetní závěrka* [Online]. 2006.
odkaz na záznam pivovaru Herold: [Výroční zpráva, účetní závěrka r.2006.pdf\(sběrka listin:B 5817/SL\) 16³](#)

¹<http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-ims/uploads/1/IMS-2013-seminar-o-projektech.pdf>

²[http://www.mzp.cz/www/ippc.nsf/53E92FB8B6FC93F2C125721E00377B68/\\$file/Vyj%C3%A1d%C5%99en%C3%AD%20Pivovar%20Kru%C5%A1ovice.pdf](http://www.mzp.cz/www/ippc.nsf/53E92FB8B6FC93F2C125721E00377B68/$file/Vyj%C3%A1d%C5%99en%C3%AD%20Pivovar%20Kru%C5%A1ovice.pdf)

³<http://www.bizbiz.cz/v2/firmy/108755/pivovar-herold-breznice-a-s>

A Přílohy k experimentu č. 1

	5 dní	6 dní	7 dní	14 dní
Klíčení	99,80	99,80	99,40	50,20
Hvoždění	42,75	42,50	42,50	21,38
Šrotovník	12,40	12,40	12,40	6,17
Vystírací kád'	64,40	63,60	63,90	32,10
Chmelový kotel	14,50	14,20	14,30	7,15
Spilky	97,67	97,50	97,17	62,33
Dokvašující tanky	48,00	47,20	48,00	30,64
Filtry	17,57	17,80	17,80	10,77
Stáčířna	9,59	9,61	9,62	4,85

Tabulka 5: Procentuální průměrné využití zařízení (v %)

	5 dní	6 dní	7 dní	14 dní
Klíčení	1220,0	483,0	70,0	70,4
Hvoždění	7,1	5,2	2,7	8,4
Šrotovník	1,0	1,0	1,0	1,0
Vystírací kád'	6,3	6,2	5,7	9,3
Chmelový kotel	3,1	3,0	3,1	0,0
Spilky	37,2	30,4	33,3	0,0
Dokvašující tanky	0,0	0,0	0,0	0,0
Filtry	8,4	6,8	4,8	0,0
Stáčířna	2,5	2,4	2,4	2,1

Tabulka 6: Průměrný čas čekání ve frontách zařízení (v hodinách)

	5 dní	6 dní	7 dní	14 dní
Klíčení	3333,0	1200,0	294,0	120,0
Hvoždění	13,9	10,3	5,0	19,0
Šrotovník	2,8	1,9	2,1	2,4
Vystírací kád'	20,1	22,7	21,4	22,0
Chmelový kotel	9,4	9,9	10,1	0,0
Spilky	266,0	169,0	117,0	0,0
Dokvašující tanky	0,0	0,0	0,0	0,0
Filtry	12,0	9,3	10,3	3,4
Stáčířna	7,5	8,4	7,3	7,3

Tabulka 7: Nejdelší čas čekání ve frontách zařízení(v hodinách)

	5 dní	6 dní	7 dní	14 dní
Klíčení	270	78	12	7
Hvoždění	1	1	1	1
Šrotovník	2	1	1	2
Vystírací kád'	3	3	3	3
Chmelový kotel	5	5	5	0
Spilky	9	9	9	0
Dokvašující tanky	0	0	0	0
Filtry	1	2	1	1
Stáčírna	5	6	5	5

Tabulka 8: Největší délka front zařízení (v počtech várek)

B Přílohy k experimentu č. 2

	5 dní	7 dní	14 dní	30 dní
Klíčení	97,20	94,40	67,80	29,20
Hvoždění	41,25	40,50	28,75	12,40
Šrotovník	12,00	11,80	8,39	3,60
Vystírací kád'	62,10	60,60	43,20	18,60
Chmelový kotel	13,90	12,40	9,61	4,12
Spilky	95,17	95,00	73,67	32,67
Dokvašující tanky	47,20	40,40	36,36	15,52
Filtry	17,37	15,07	12,87	5,83
Stáčírna	12,40	11,10	8,43	3,79

Tabulka 9: Procentuální průměrné využití zařízení (v %)

	5 dní	7 dní	14 dní	30 dní
Klíčení	1530,0	263,0	197,0	161,0
Hvoždění	4,7	5,5	7,9	8,3
Šrotovník	1,0	1,1	1,1	1,1
Vystírací kád'	7,4	7,1	9,8	9,4
Chmelový kotel	3,0	3,5	2,9	4,0
Spilky	32,2	425,0	32,7	42,5
Dokvašující tanky	0,0	0,0	0,0	0,0
Filtry	0,0	0,0	5,9	0,0
Stáčírna	3,3	3,3	3,2	2,8

Tabulka 10: Průměrný čas čekání ve frontách zařízení (v hodinách)

	5 dní	7 dní	14 dní	30 dní
Klíčení	3320,0	1040,0	624,0	389,0
Hvoždění	11,0	12,8	18,0	17,5
Šrotovník	3,1	3,9	2,9	2,7
Vystírací kád'	23,6	22,2	22,7	22,1
Chmelový kotel	9,6	17,8	8,7	10,9
Spilky	123,0	956,0	107,0	123,0
Dokvašující tanky	0,0	0,0	0,0	0,0
Filtry	0,0	0,0	8,8	0,0
Stáčířna	14,3	9,9	13,3	4,0

Tabulka 11: Nejdelší čas čekání ve frontách zařízení(v hodinách)

	5 dní	7 dní	14 dní	30 dní
Klíčení	387	54	42	29
Hvoždění	1	1	1	1
Šrotovník	2	2	2	2
Vystírací kád'	3	3	3	3
Chmelový kotel	5	9	5	6
Spilky	8	57	10	8
Dokvašující tanky	0	0	0	0
Filtry	0	0	1	0
Stáčířna	8	5	5	2

Tabulka 12: Největší délka front zařízení (v počtech várek)

C Petriho síť

Obrázek 5: Petriho síť pro pivovar

